

スマートビルに見るオープン化の取り組み

～BIM・ビルOS・デジタルツイン～

2024.10.11

株式会社竹中工務店
エンジニアリング本部
政井竜太



竹中工務店のご紹介

「1610年創業」 「7,786名」 「売上高 1兆6,124億円」 「本社大阪」

(2024年1月現在)

(2023年度連結)

独自のスタイルが「違い」を生む

「竹中工務店らしさ」「竹中工務店の強み」。それらを語るとき、ここで紹介する5つの特長がカギとなります。長い年月を積み重ね、磨き上げられてきた竹中工務店ならではの考え方や、仕事への取り組み方。それは、変わることのない当社の基盤であり、一人ひとりの社員に受け継がれている精神です。そしてまた、新たなチャレンジへと私たちを駆り立てる原動力ともなっています。



建築専業



創業四百年



非上場



設計・施工



作品主義



図出典：弊社HP



建物ライフサイクルにおける脱炭素化

脱炭素化には「つながる=ネットワーク」が重要。建物をスマートに「つくる」「つかう」

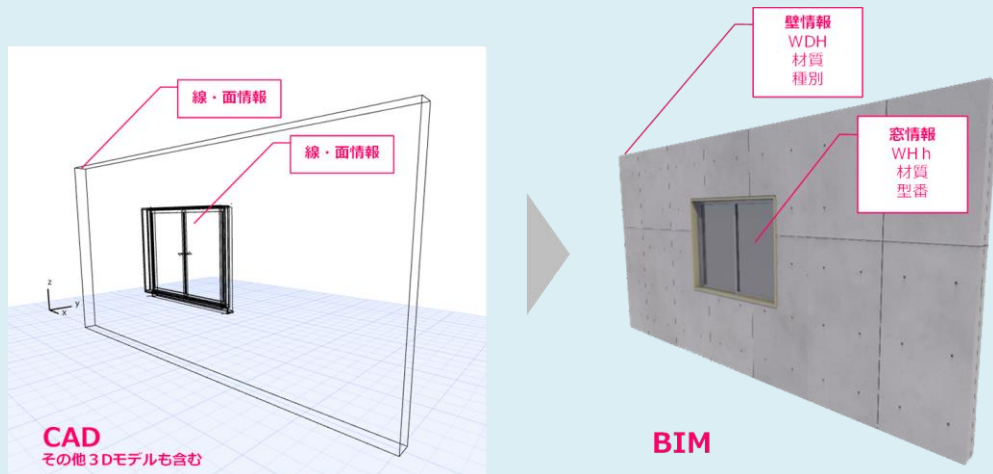


図出典：弊社HP

関係者間の意思疎通、生産性・品質向上を図る共通のツール

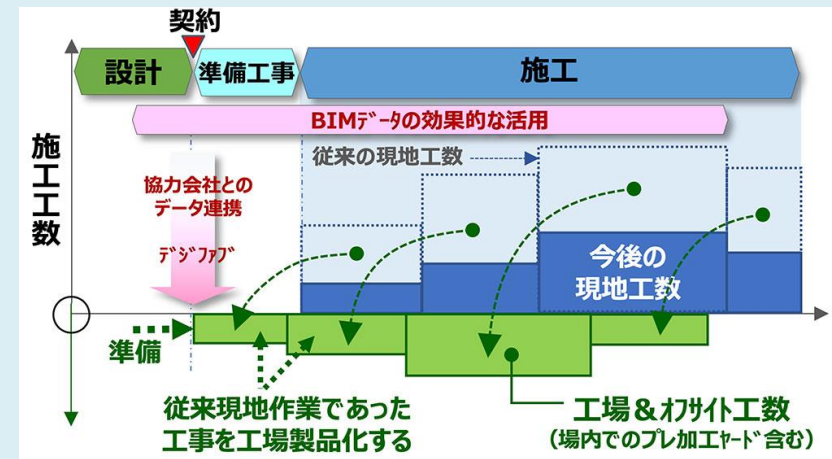
Building Information Modeling

- ・ 「形状+属性」を持つオブジェクトの集合体
- ・ 寸法や材質、型番など建物を形作る情報提供
- ・ 様々な情報をつなぐインターフェースの役割



BIM活用のメリット

1. 建築主の想いを早く形にして共有・整合
2. 施工計画の前倒し（デジタル施工シミュレーション）
3. 現場作業を減らし工場製品（デジタルファブ）化



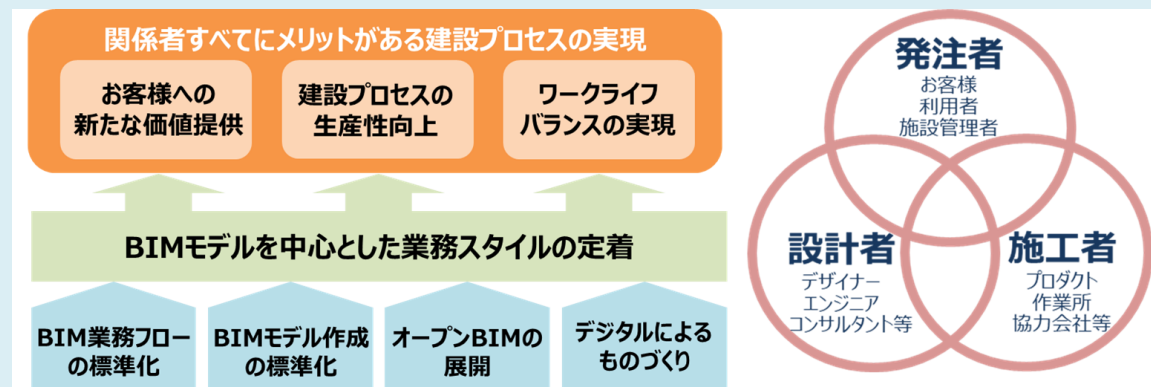


建物をスマートにつくる ~オープンBIM~

「誰一人取り残さない」を合言葉に、共通のプラットフォームで仕事する

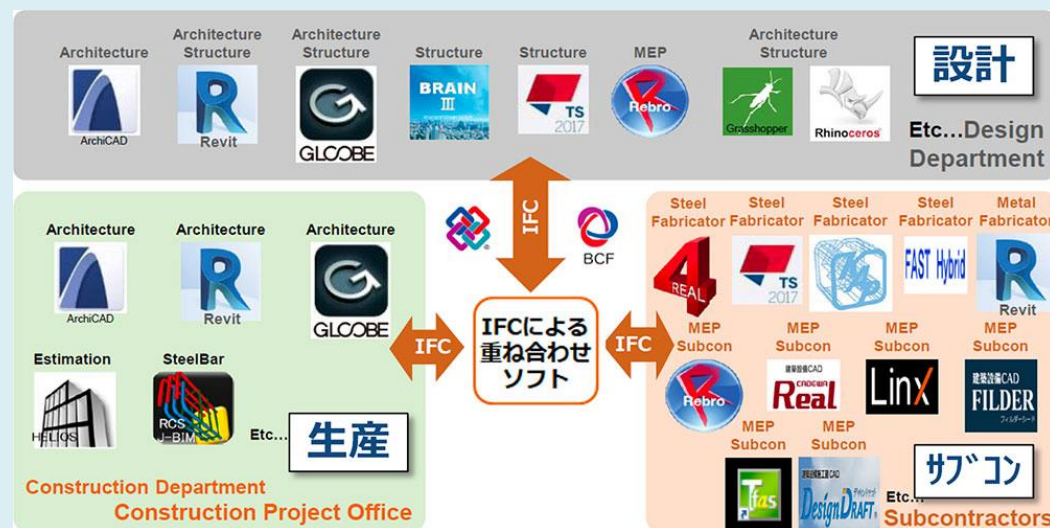
BIM推進ビジョン

- ・ 関係者全てにメリットがある建設プロセスの実現
- ・ オープンBIMの展開から仕事を「標準化」



オープンBIM

- ・ 国際標準「IFC」モデルを用い広く情報共有
- ・ BIMソフトの選択自由でシームレスな連携可

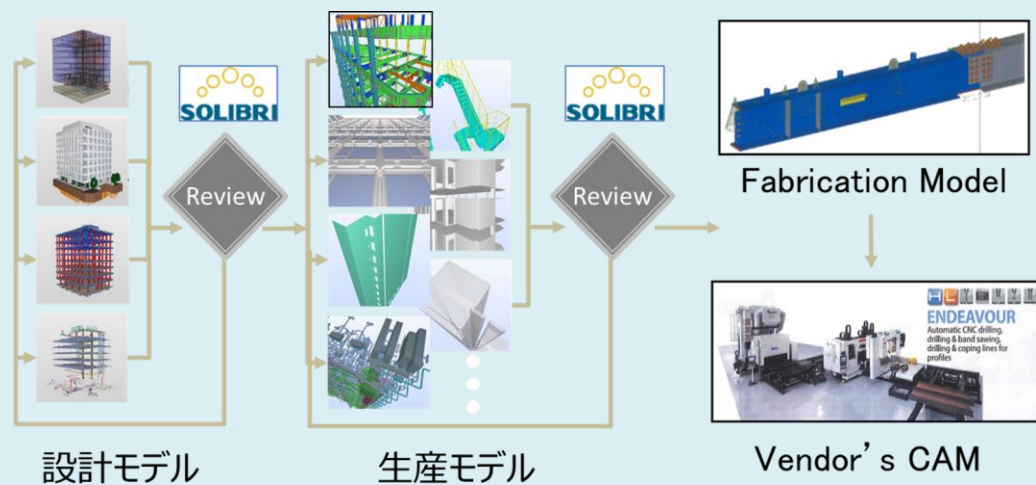


図出典：弊社HP

オープンBIMデータを、スマートビルのデジタルツイン機能で活用したい

BIMモデルフロー

- ・モデルを重ね合せ、後工程へデータ連携
- ・設計→生産→工場製造→FM（運用）へ



オープンBIMが生み出す価値の最大化

- ・プロジェクト関係者がモデルを成長させる
- ・形状・属性の価値をスマートビル運営に活用



建物をスマートにつかう ～スマートビルへの期待～

「見える化・省エネ・省力化・快適・安全安心」を実現する「**スマートビル**」に期待が高まる

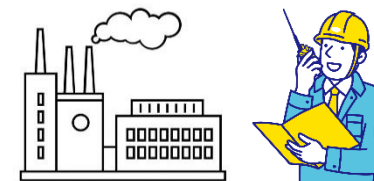
複数棟の管理



オフィスビル



生産製造施設



社会的なニーズ

- 複数棟を効率管理
- 管理報告を統一化し比較分析
- 利用状況を見える化し最適化

- 在席状況や健康を見える化し
快適性&節電を推進
- コロナ禍の中、付加価値を向上

- IoTやAIを活用し見える化
- 生産性の向上
- 情報セキュリティへの配慮

ビルに求められる 高度な機能

- 見える化
- 複数棟の省力管理
- 連携ビル制御

- 環境見える化
- 快適性&ZEB化
- 健康増進

- 見える化
- 省エネ・省力化
- BAセキュリティ対策

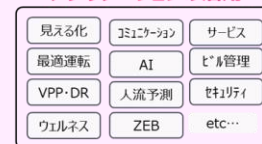
IoTやサービス連携により、安全安心・省エネ・快適性などの制御や付加価値サービスを高度に実現するビル。

※ビッグデータ蓄積・分析、AI適用、柔軟なシステム連携のため
データ・プラットフォーム（ビルOS）が必要となり、2010年代の後半から、大手ゼネコン各社が次々に発表している。

外部情報との連携



アプリケーションの活用



東関東支店ZEB改修（2015）



ビル内データ量の増加と高度な設備制御



EQ House（2019）

スマートビルの定義

- ① ビル内外のアセットを組み合わせることで提供可能な機能を拡張でき、新たなサービスの創出や追加を行う。
- ② 抽象化されたアセットを基にサイバーフィジカルシステムを実現し、データドリブンな制御を可能とする。
- ③ ビル間協調を典型とした外部アセットとの連携により、街の構成要素としてより広域にサービスを提供可能にし、多くの関係者に継続的な価値向上をもたらす。

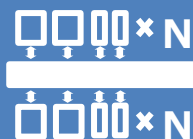
データドリブンであること



General Requirement

- データの統一的な利用
- ビッグデータ活用
- AIやMLの適用
- アルゴリズムの再利用
- データガバナンスの実践
- データトラストの確保

協調領域をもつこと



General Requirement

- レイヤー構造を有する
- 疎結合なサービス連携
- 標準化されたインターフェース
- $\times N$ 倍でスケールする
- 参入障壁を下げ、公平な競争を加速する

体験価値を考慮すること

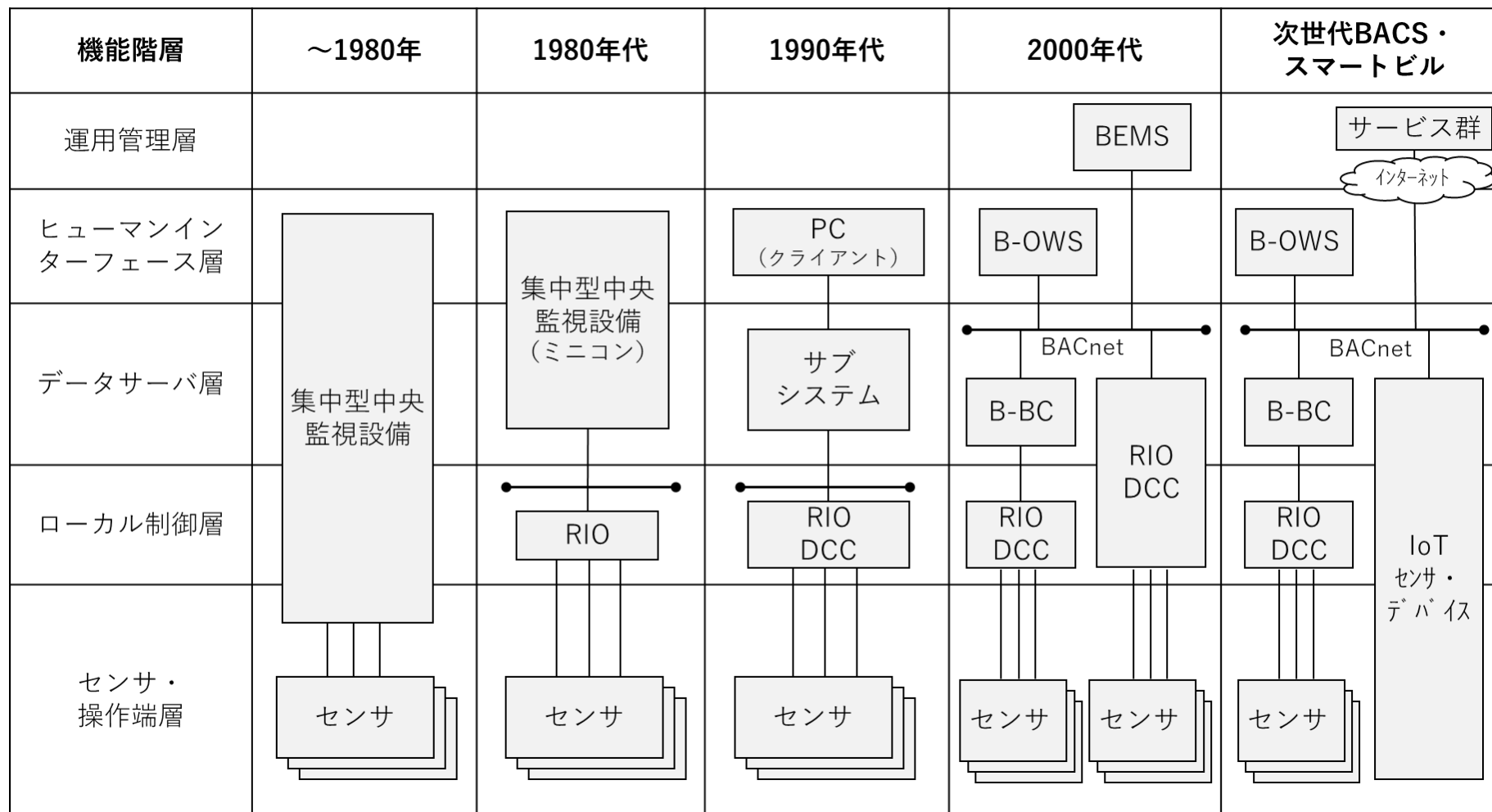


General Requirement

- 多様なステークホルダー（入居者、管理者、開発者）に対して、それぞれにUX（体験価値）向上を考慮
- トレンドに合わせた機能のアップデートが可能

DADCスマートビルガイドライン <https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/guidelines/smartbuilding-guideline.html>

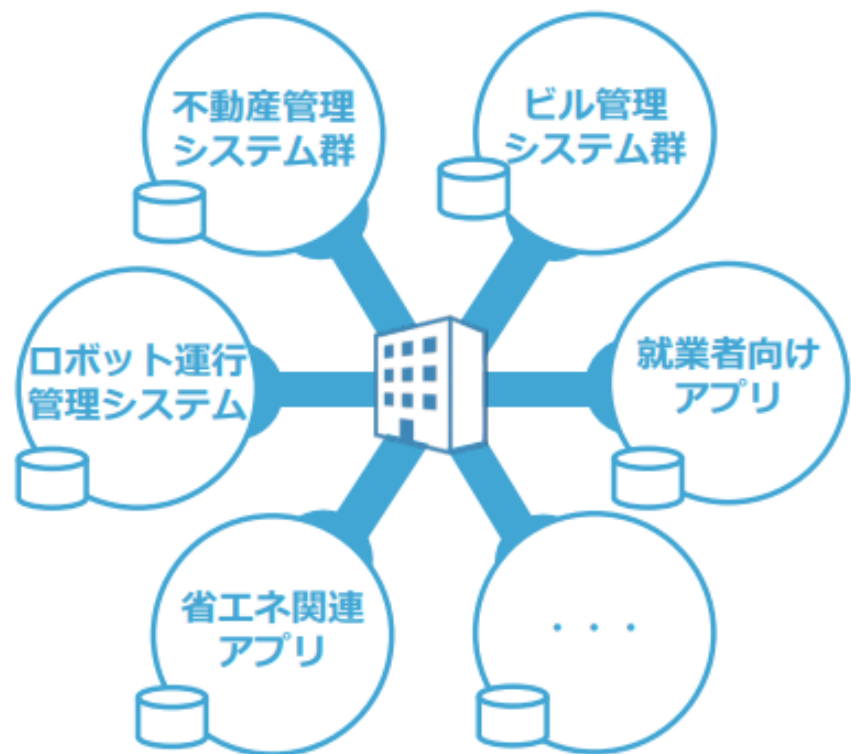
ビルシステムはベンダーロックな構成で、建物内外のデータを活用するスマートビル実現は長年の夢だった



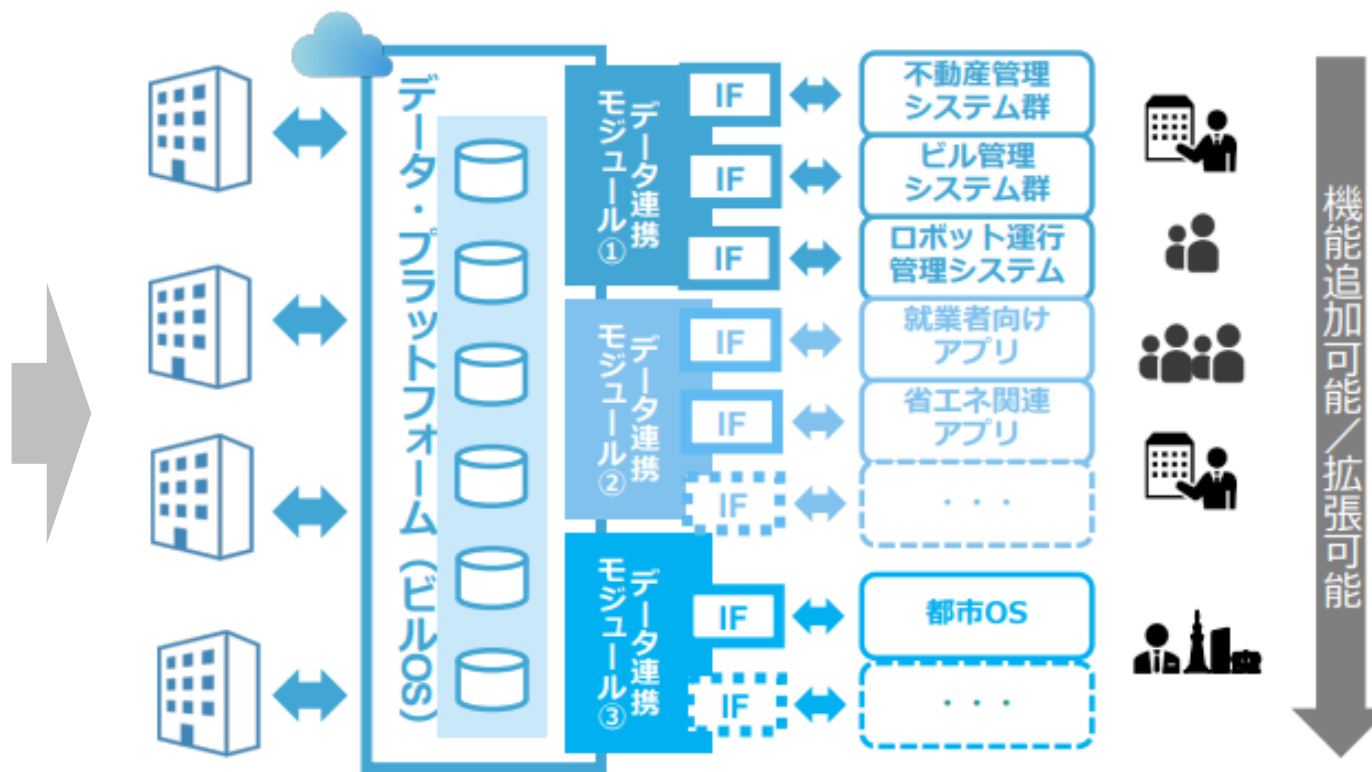


スマートビル[®]のAs Is/To Be

各アプリやサービスがデータを個別管理するモデルから、共通のデータPF（ビルOS）中心の構成に変化



AS-IS それぞれのシステムがデータを保持



TO-BE データを中心とした疎結合なアーキテクチャ

スマートビルガイドライン 補足説明資料より

https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/Individual-link/ps6vr7000001x8o0-att/smartbuilding_guideline_appendix.pdf

アプリケーションを「常にUpdateし続ける」ことで、建物機能の陳腐化を防ぎ価値を持続・向上させる

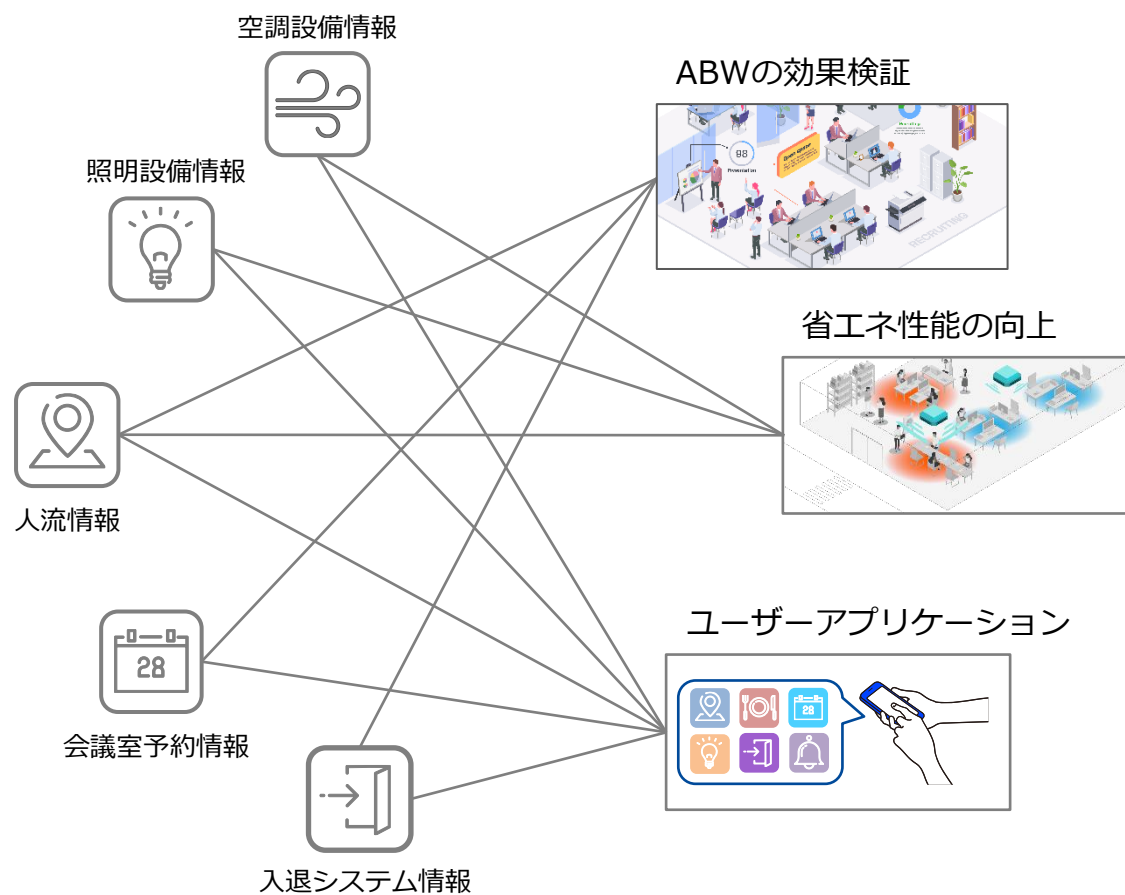


使うほどにデータが蓄積され、アップデートしていく

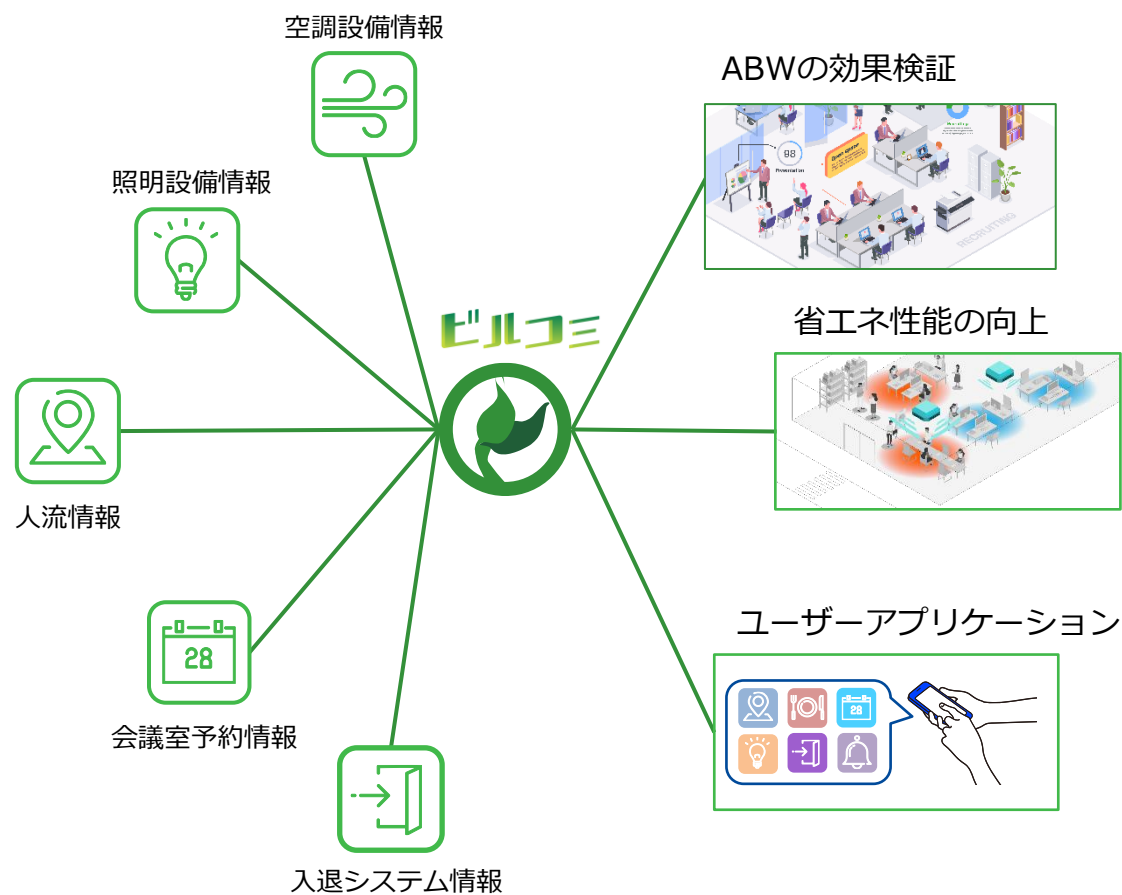
ビッグデータを収集、活用しやすい「オープンなプラットフォーム環境が必要」になってきている

- ▶ 魅力的なビルアプリを安価に利用できるようにするため、ICT業界から開発者の参入促進が必要である

Without ビルOS



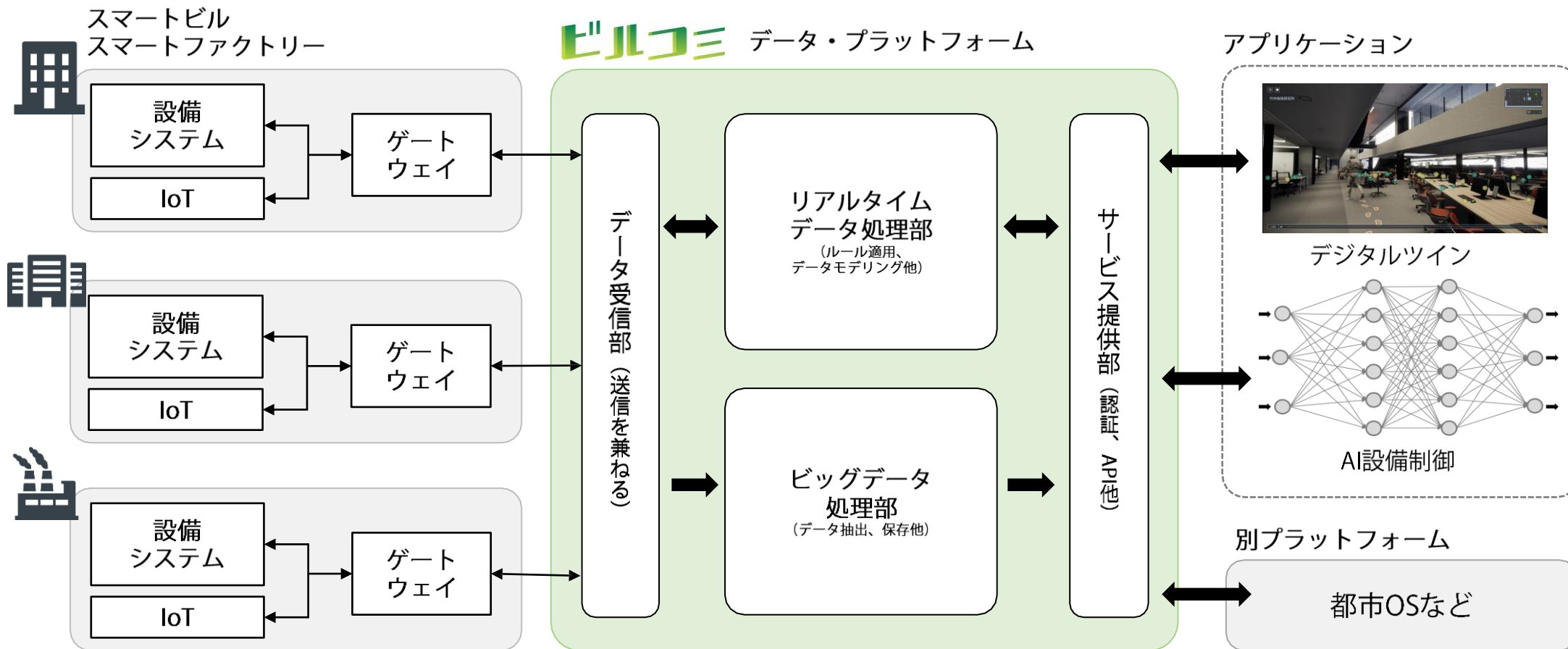
With ビルOS





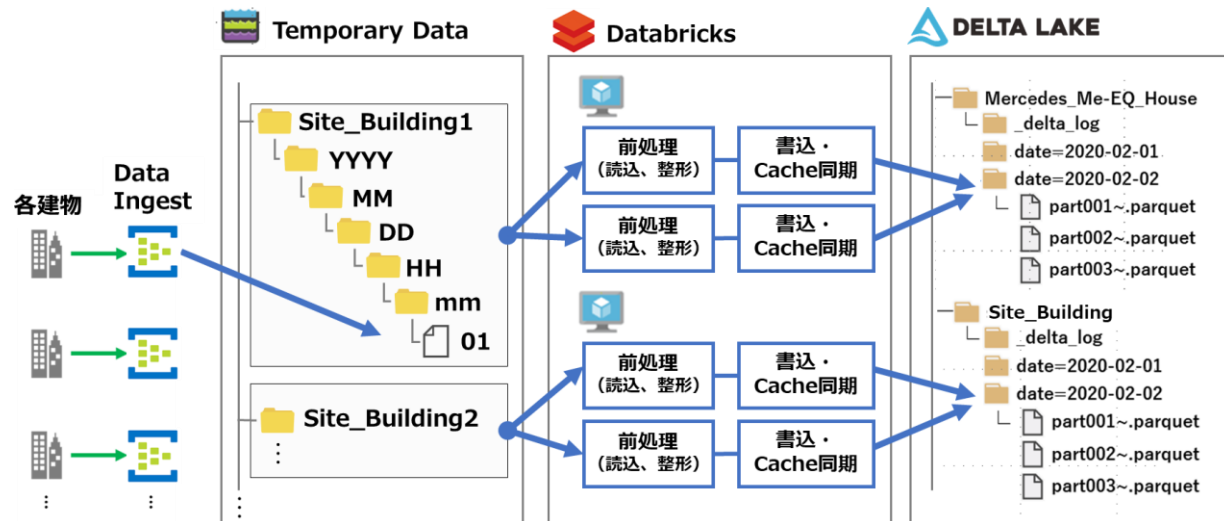
ビルコミュニケーションシステム® (ビルコミ)

- ① スマートビルの多くのユースケースとインターネットのベストプラクティスを元に設計 (ラムダ アーキテクチャ)
- ② BIMを用いたデジタルツイン、リアルタイム制御、ビッグデータの安価な保存や取得に対応
- ③ アプリケーション開発費用の低減が可能。将来的なシステムの拡張、アプリケーションの再利用が容易に



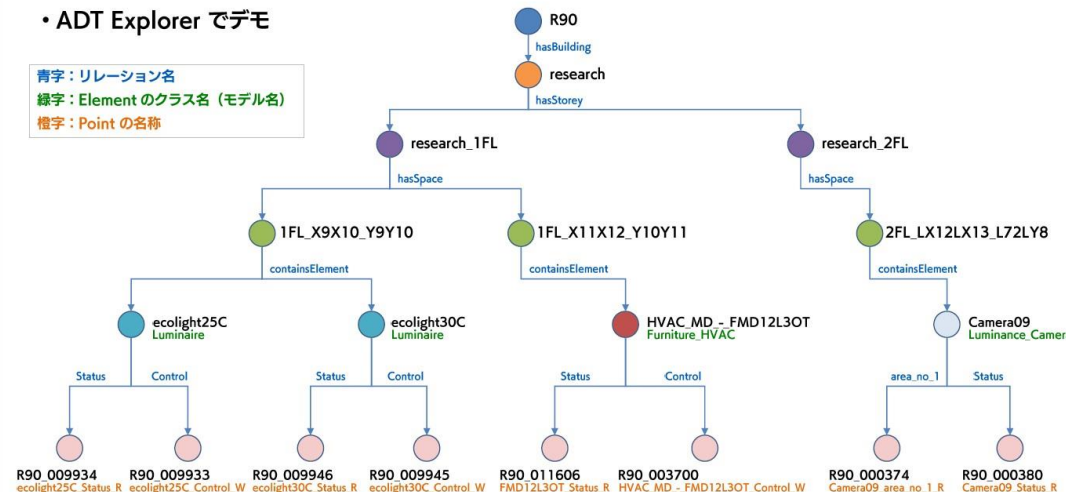
BIM を用いたSoftware Defined BACS の実現に関する研究, 粕谷貴司, 東京大学情報理工学部 (博士論文,2020年)

1. 設備だけでなく、IoTを含む時系列データを安価に保存可能なデータレイク
2. クラウドネイティブ実装（高いスケーラビリティや可用性）
3. BIM(Building Information Modeling)を用いたデジタルアセット管理
4. インターネットのトレンド技術の活用
5. DADCのスマートビルガイドラインに準拠



Azure Databricksを使ったデータレイク

・ADT Explorer でデモ

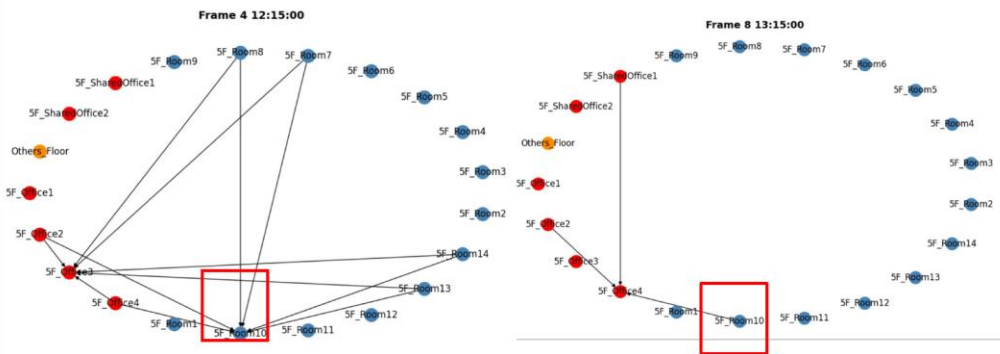
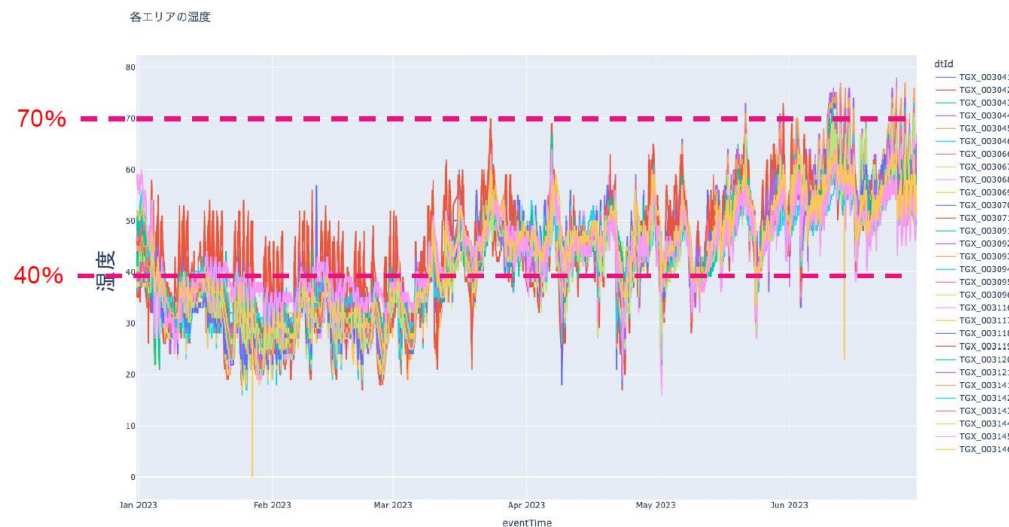
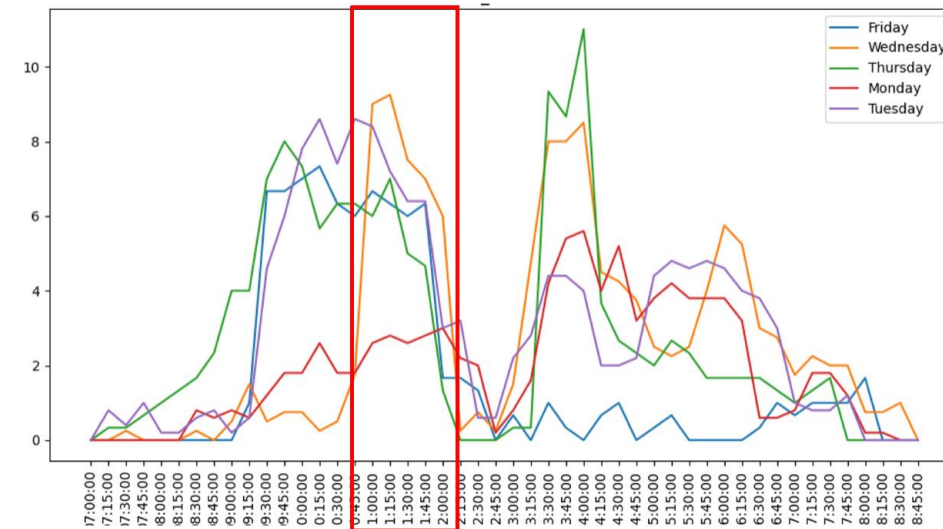
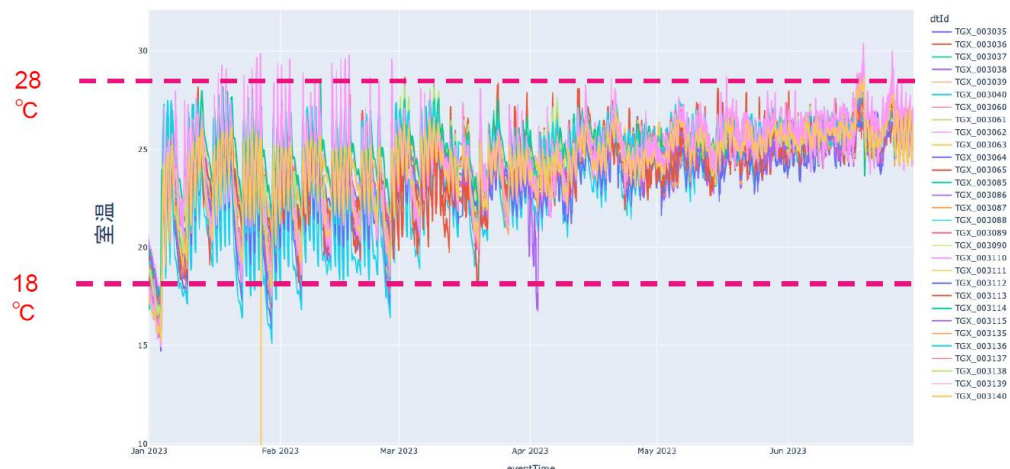


Azure Digital Twinsによるデータモデリング



ビルコミで収集しているデータの例

温湿度などの環境データ、エネルギーデータ、人流データなどを取得し、構造化および分析を行う



温湿度データの可視化

人流データの可視化、分析



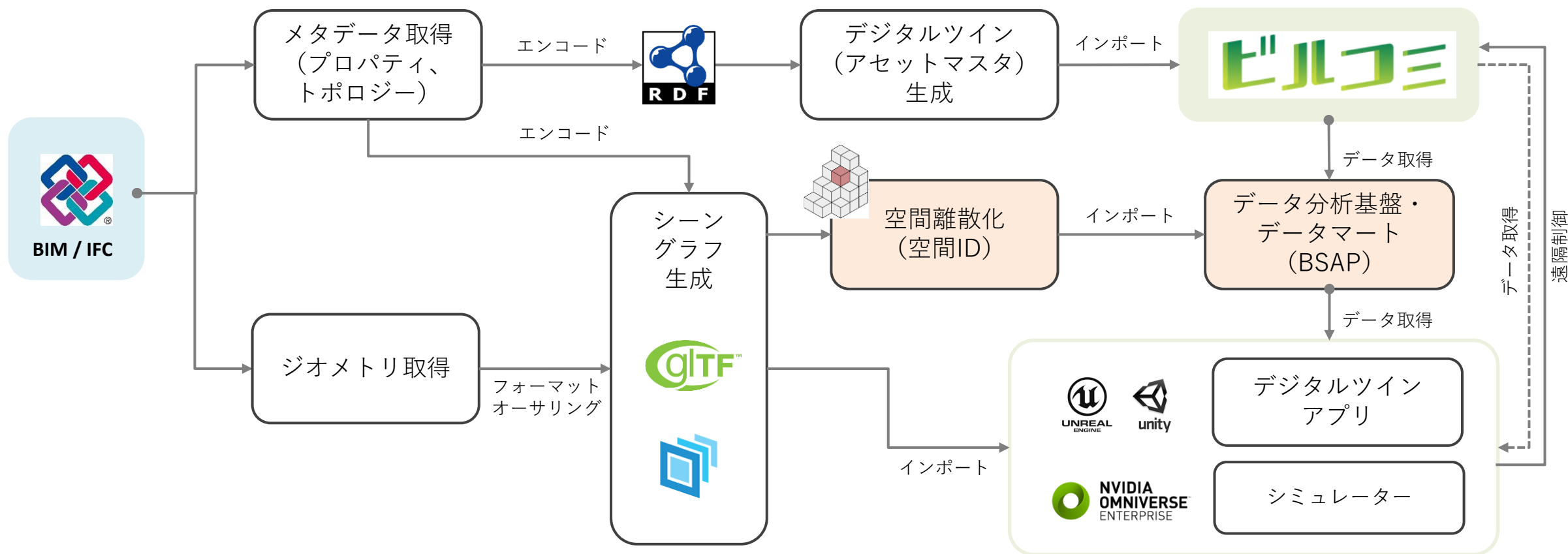
BIM×ビルOS (デジタルツイン) のコンセプト

1. BIM活用のプロセスを定義

→多様なアプリ (ゲームエンジン) でジオメトリを共有 / 編集できる環境を構築。

BIMを起点とすることで、座標系などの空間記述の統一化がある程度可能に

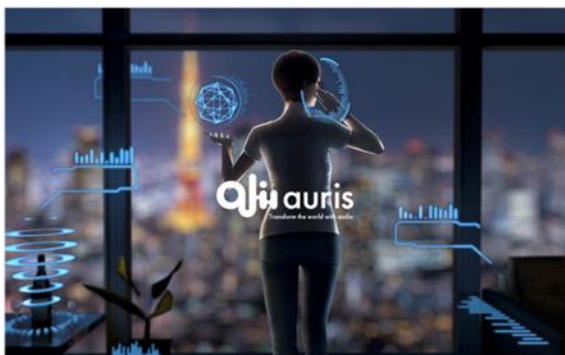
2. ゲームエンジンをシミュレーターとして活用するサイバーフィジカルシステムの構築を可能



ビルコミ×音声MR



ビル環境や利用者の行動・属性に応じた音声案内、設備制御



ビルコミ×メタバース



メタバースからビルOS経由でデータ連携を行いフィジカル空間に反映



シミュレータ×物体検出



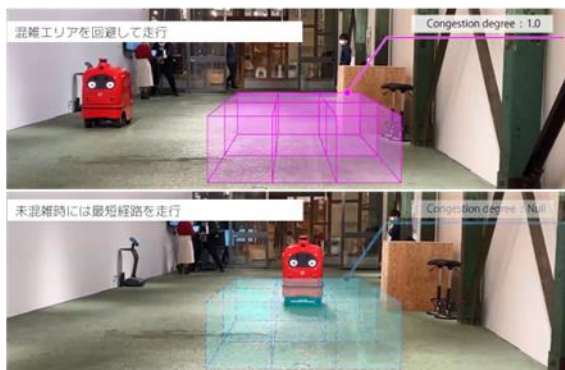
デジタルツインから教師となる画像生成し、AIによる物体検知のモデルを構築



ロボット走行ルート最適化



混雑するエリアを人流データから予測し、最適走行ルートを選択



空間の持つ「広告効果」を可視化



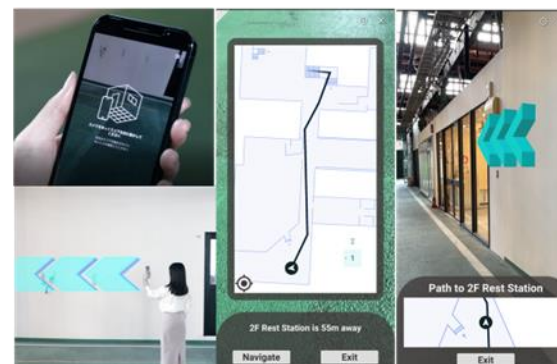
空間の注目度を可視化し、広告効果の検証や広告価格のエビデンスに使用



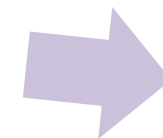
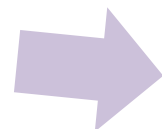
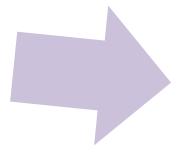
ARナビゲーション



ARを用いて建物内での現在位置を検出し、目的地まで道案内



クラウドの技術革新やインターネットの技術トレンド等を鑑みて、逐次アップデートを続けている



OSSによる実装

クラウド (PaaS)
による実装

ソリューション化
(ビルコミプラス)

機能性・利便性向上



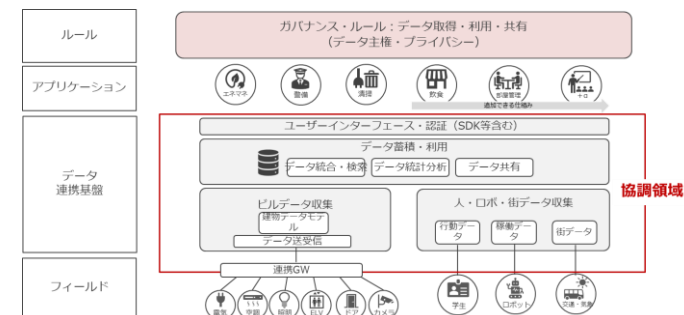
EQ House



竹中技術研究所



竹中セントラルサウス



スマートキャンパスプロジェクト

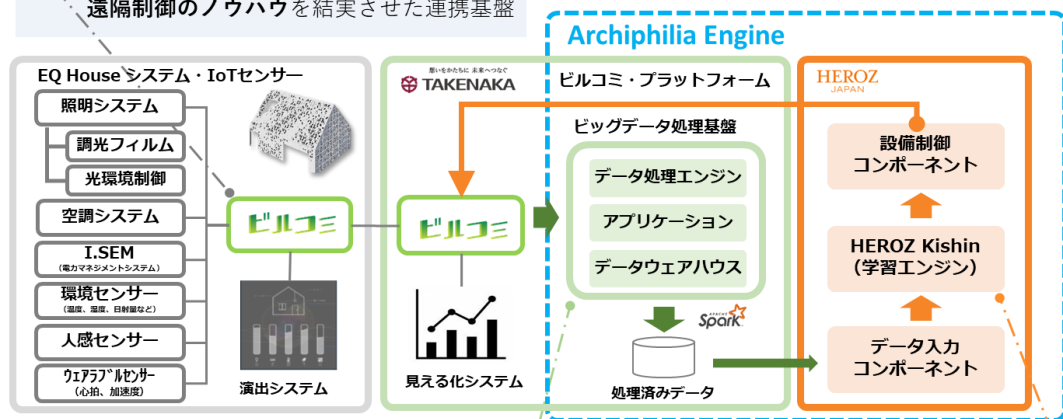


事例① EQ House

建築地 : 東京都港区六本木7-3-10
 敷地面積 : 493.9m²
 延床面積 : 88.08m²
 建築構造 : 地上1階鉄骨造
 工期 : 2018/9/1~2019/2/28
 会期 : 2019/3/12~**2024/9/30**

①建物遠隔制御を支える「ビルコミ®」

大量のデータ送受信が求められる建物の遠隔制御のノウハウを結実させた連携基盤



②柔軟な機能展開が可能なビッグデータ基盤

リアルタイム / ビッグデータ処理に適したアーキテクチャによるデータ基盤。大量のデータを安価に蓄積・分析する。APIを介して容易にデータ取得・連携が可能で、高い拡張性を持つ。

③快適性と省エネを両立する強化学習AI

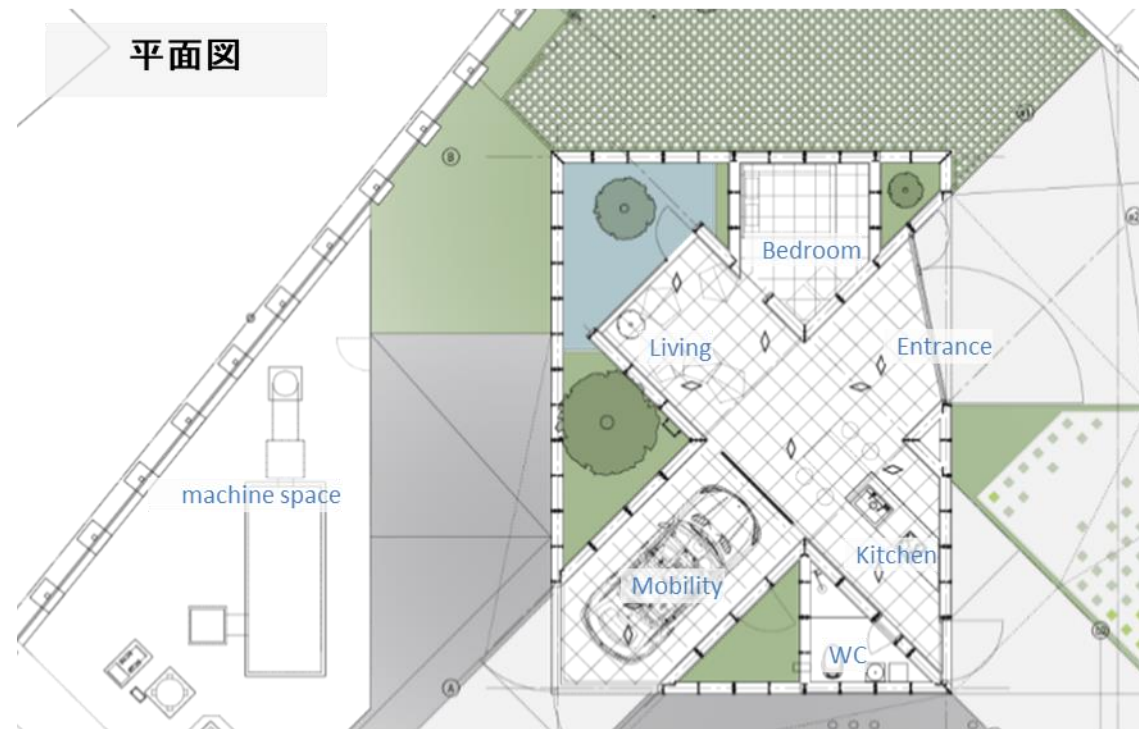
約700のセンサ入力、約200の制御ポイントに対し、自律的に制御と学習を進める強化学習AIを適用



外観



平面図



出典) https://www.takenaka.co.jp/eq_house/ ※2024年9月末に本店舗での営業を終了

1. 強化学習AI (HEROZ Kishin) を用いて、従来の有人管理による制御が再現できることを確認。
2. PMVによる最適化制御を実施。悪化した温熱環境が、AI制御によりPMVの快適域に自動的に回復を確認。
3. 本件のノウハウをもとに、ビルコミ (PaaS版) の開発をNEDO採択事業で進めることに。

Phase1 従来の有人管理制御の再現

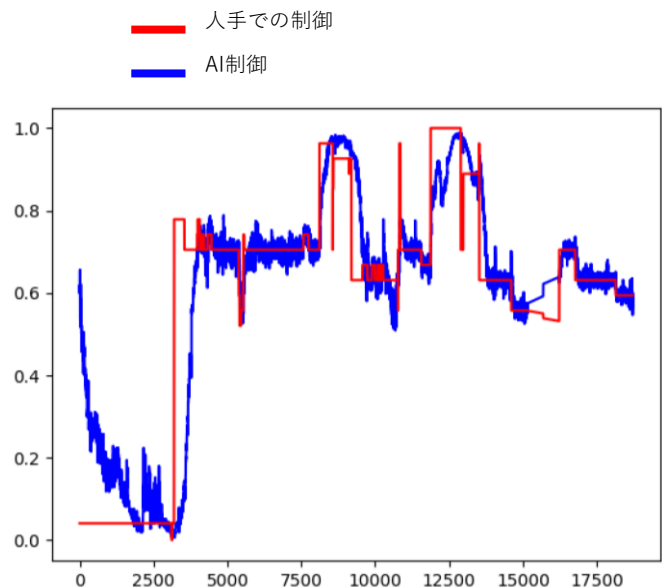
人の制御を学習させたAIによって、建物を遠隔制御することが可能な学習モデル (AI) を開発。



センシングデータを用いた学習

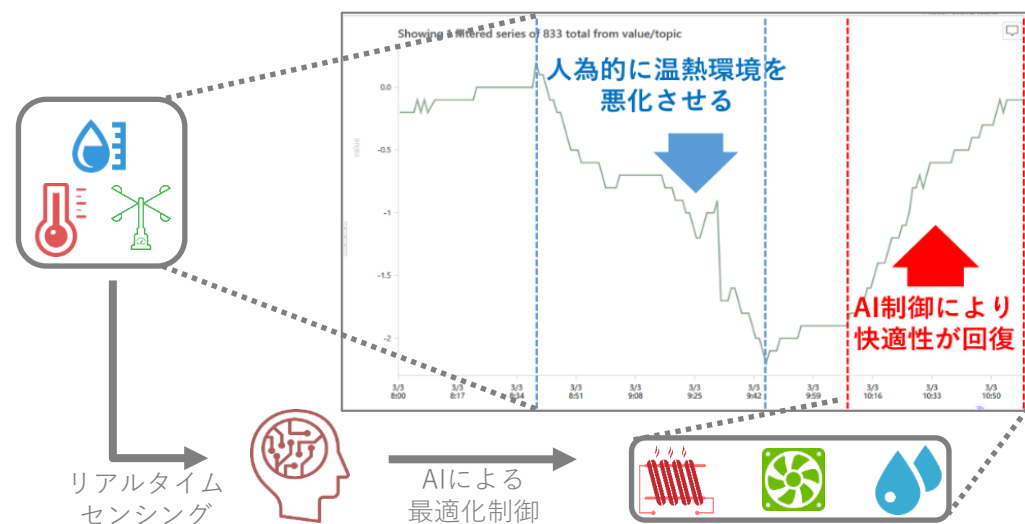


制御の模倣



Phase2 温熱快適指標 (PMV) の最適化制御

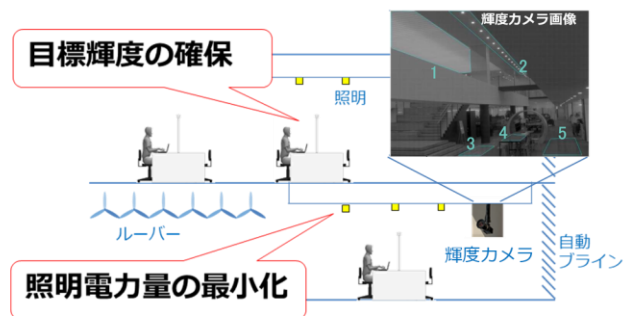
開発したAIによるPMV最適化制御を実現。PMVによる環境評価に基づいてAIが自律的に制御対象を決定。



AI制御（強化学習）で 照明や空調の快適性を損なわず 消費電力を最小化

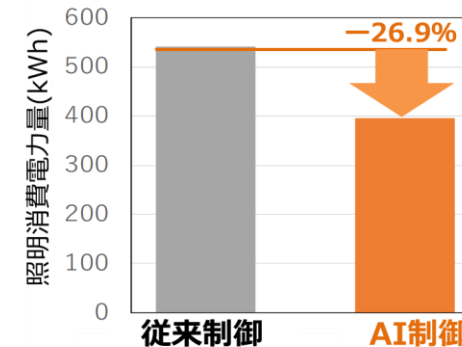


目標輝度を保ちつつ、照明消費電力を最小化するよう照明・ルーバー・ブラインドを制御

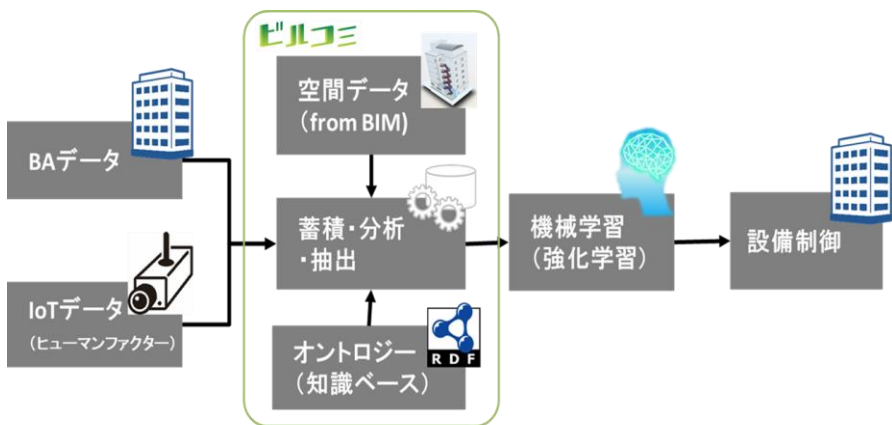


光環境制御の報酬

従来の自動制御と比較し、**26.9%の照明電力削減**

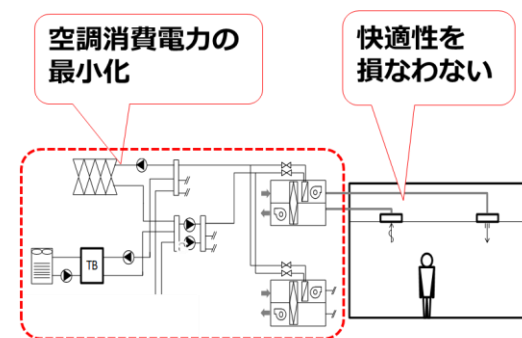


※AI制御期間中(12/14-12/25)



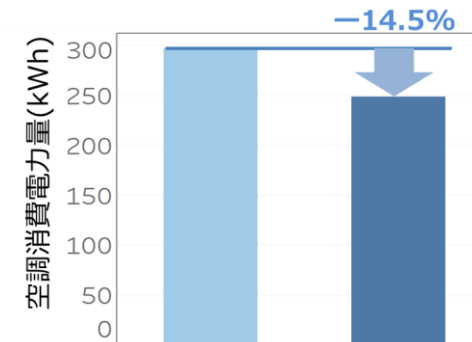
ビルOSによるBA・IoT・空間データ活用+強化学習による設備制御

快適性を損なわずに消費電力を最小化するよう熱源送水温度を制御



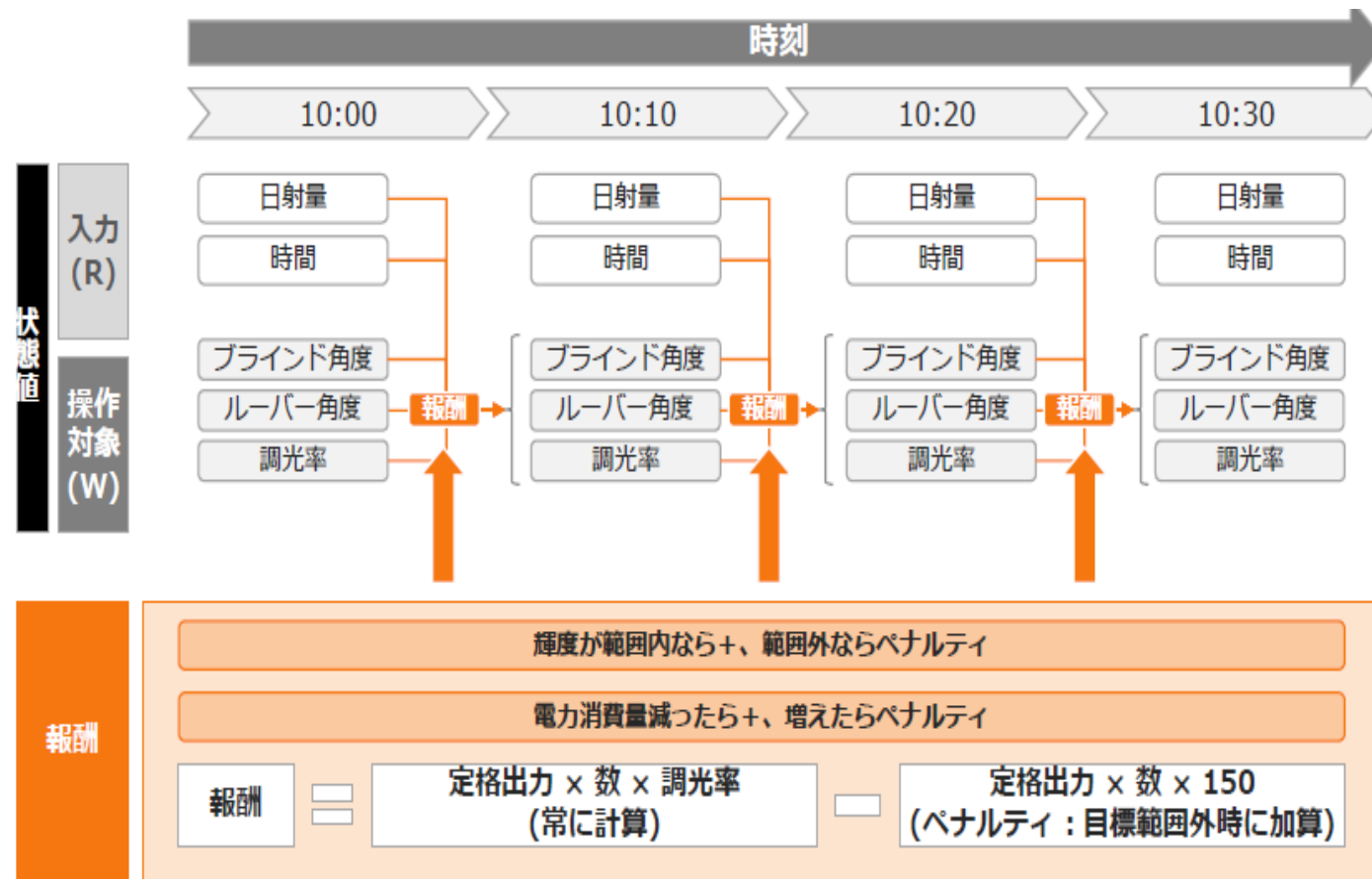
空調システムの報酬

従来制御（送水温度固定）と比べ **14.5%の冷房電力削減**

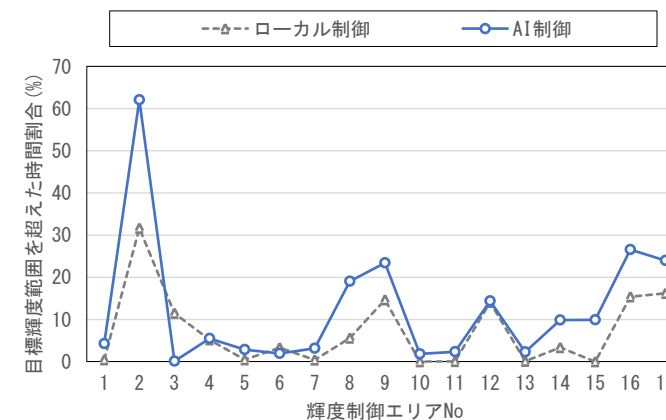
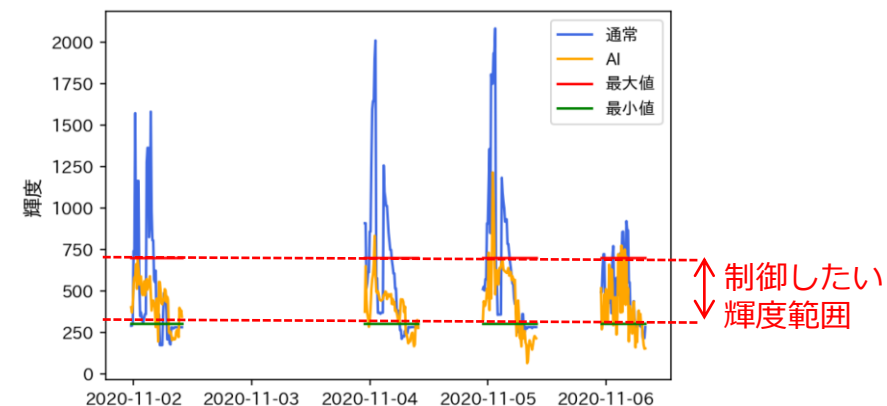


※AI制御期間中(10/5-10/16)

1. 省エネと快適性を両立する制御モデルを開発、26.9%の電力消費量を削減
2. 室内輝度の予測AI、機器制御モデルを組み合わせさせて構築



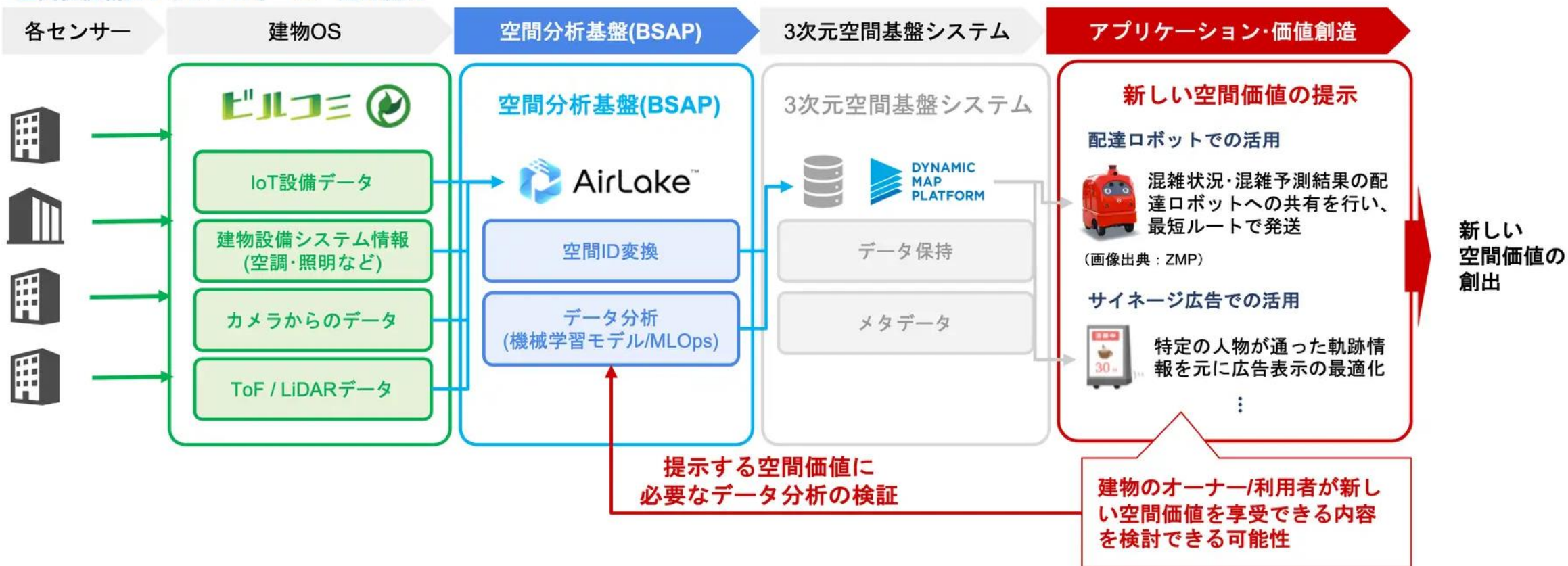
照明AI（強化学習）による制御プロセス



ローカル制御とAI制御の輝度制御状況比較
(上: 制御指示、下: 輝度目標の逸脱割合)

- ① より高度なデータ活用のために、データ構造化とBIMを用いた空間分析技術の検証を行っている。
- ② 3次元空間情報基盤（空間ID）との連携や、生成系AIの取り組みなどを試行している。

空間価値創出プラットフォーム一連の流れ

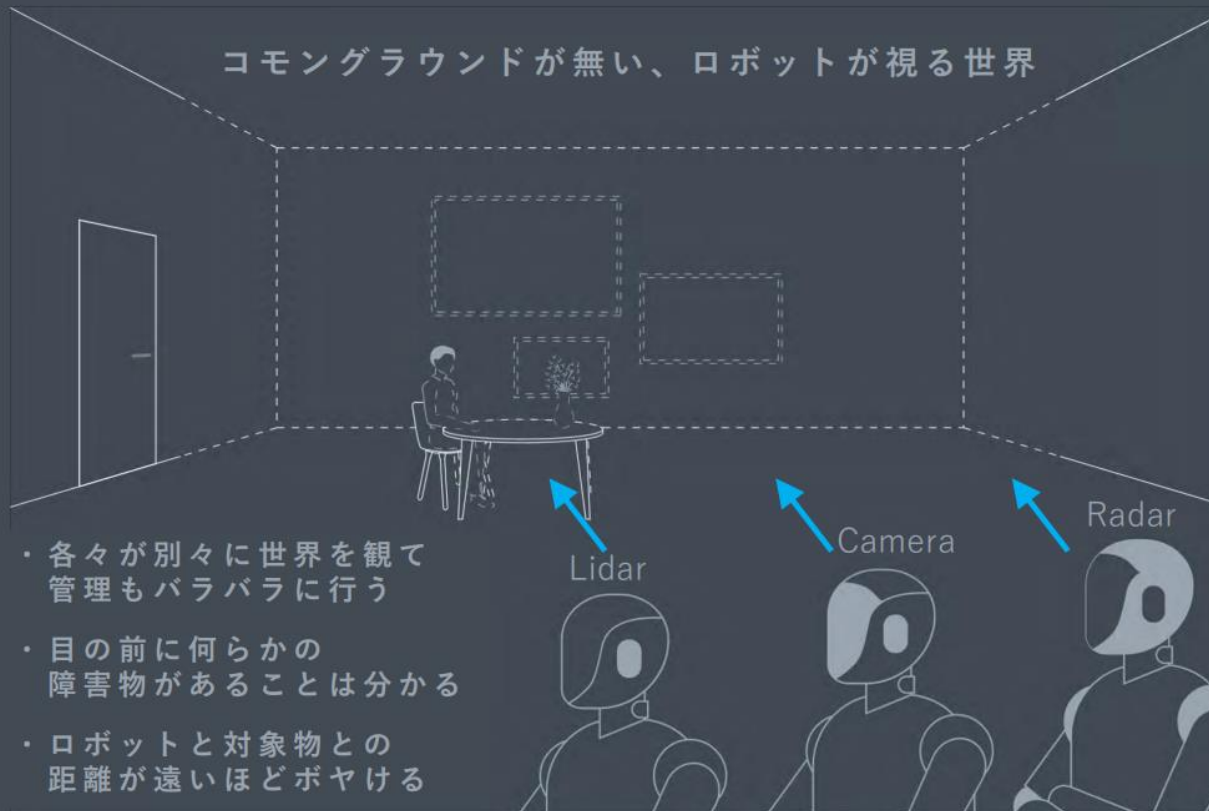


DATAFLUCT、空間情報活用を容易にする新たな規格「空間ID」を、ロボット走行や広告配信の最適化に実装
<https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000174.000046062.html>

人とロボットの共通認識（コモングラウンド）をもとに、協業・共創を促進

障害物の向こう側や遠い場所は把握できない。

コモングラウンドが無い、ロボットが視る世界

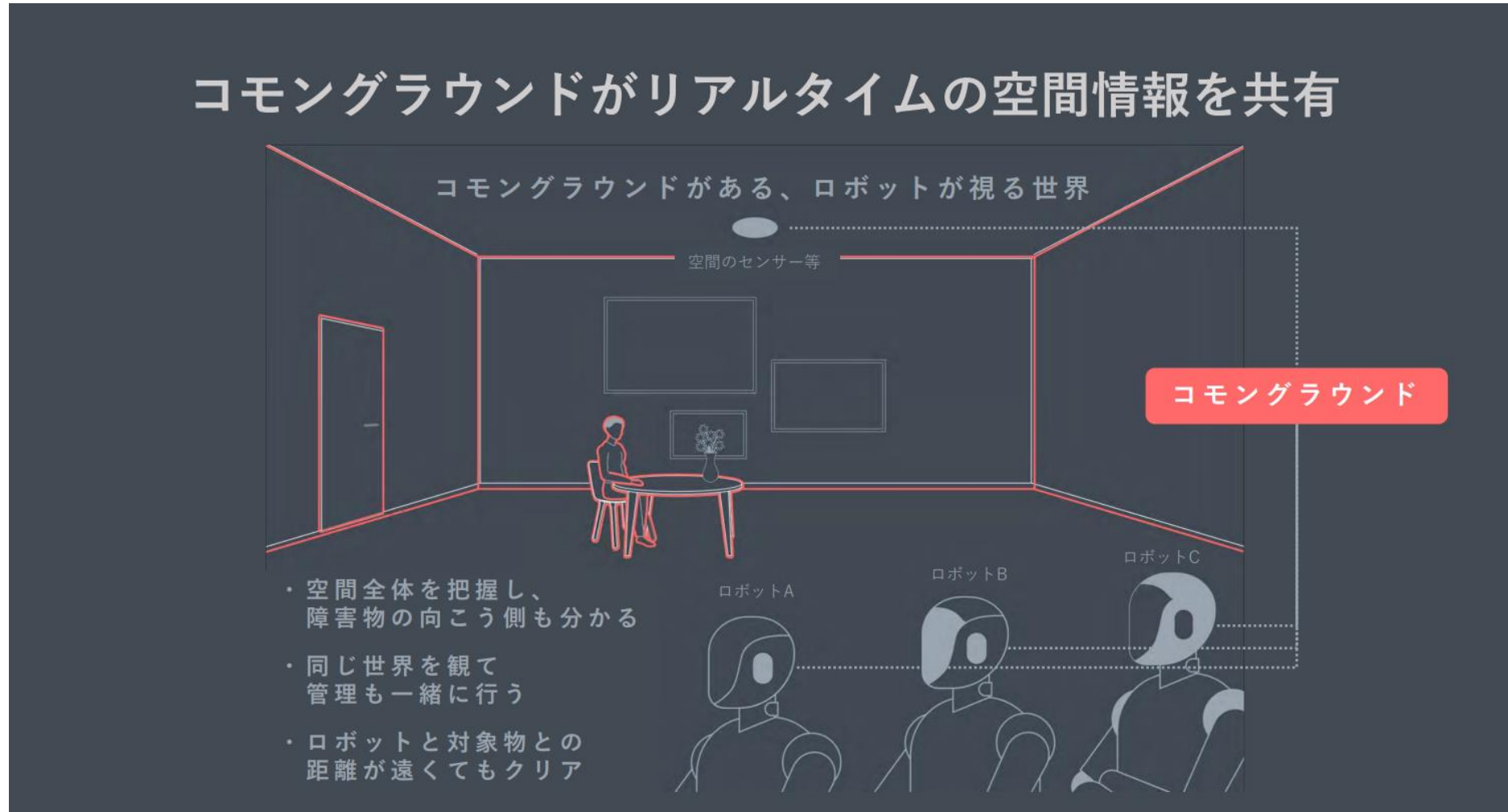


- ・各々が別々に世界を観て
管理もバラバラに行う
- ・目の前に何らかの
障害物があることは分かる
- ・ロボットと対象物との
距離が遠いほどボヤける

出典：コモングラウンドリビングラボHP

https://www.osaka.cci.or.jp/Chousa_Kenkyuu_Iken/press/210701cmn.pdf

人とロボットの共通認識（コモングラウンド）をもとに、協業・共創を促進



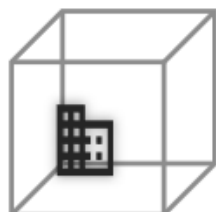
出典：コモングラウンドリビングラボHP

https://www.osaka.cci.or.jp/Chousa_Kenkyuu_Iken/press/210701cmn.pdf

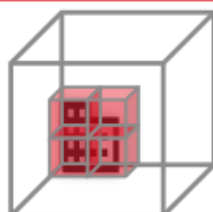
「空間をジャングルジム化」－ 空間データとして情報処理し「空間知能化」

ボクセル

建物情報

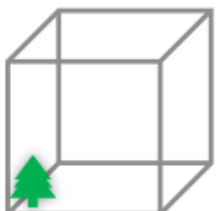


空間ID
紐付け

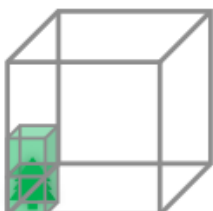


①統合・検索の
作業が簡単に。

樹木情報



空間ID
紐付け



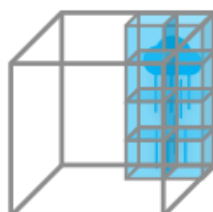
自動結合
ID検索 ※

②ロボットやシステムが
利用しやすい形に。

気象情報

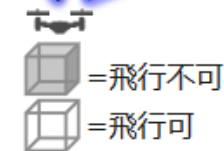
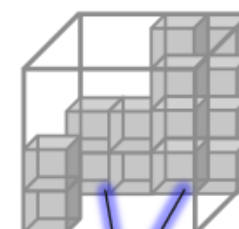


空間ID
紐付け



3次元空間情報基盤

軽量化
高速処理



3次元空間情報利用
アプリケーション
(例：ドローン運航管理)

※ 異なる仕様の空間情報に対して一意に位置が特定可能な検索キー(インデックス)として空間IDを活用

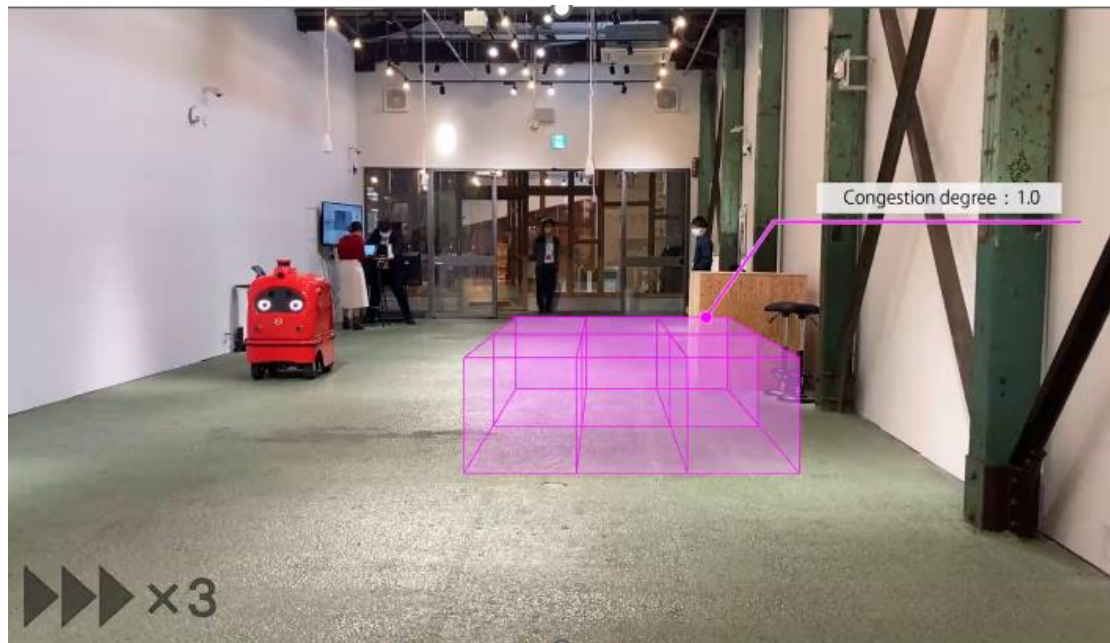
Copyright © 2022 METI/IPA

1. BIMから抽出したジオメトリ情報をもとに離散化されたボクセル情報（空間ID）に変換
2. CGLLで取得できる人流センサー（LiDAR / ToF）を利用して、空間IDのメタデータとしてマッピング
3. ロボットの動作の最適化のための混雑度予測をBSAPで行い、ルート選択をロボット側で実施
4. 同様に空間IDに格納された情報を用いて、広告価値算定を実施。ゲームエンジンでの可視化を行った。

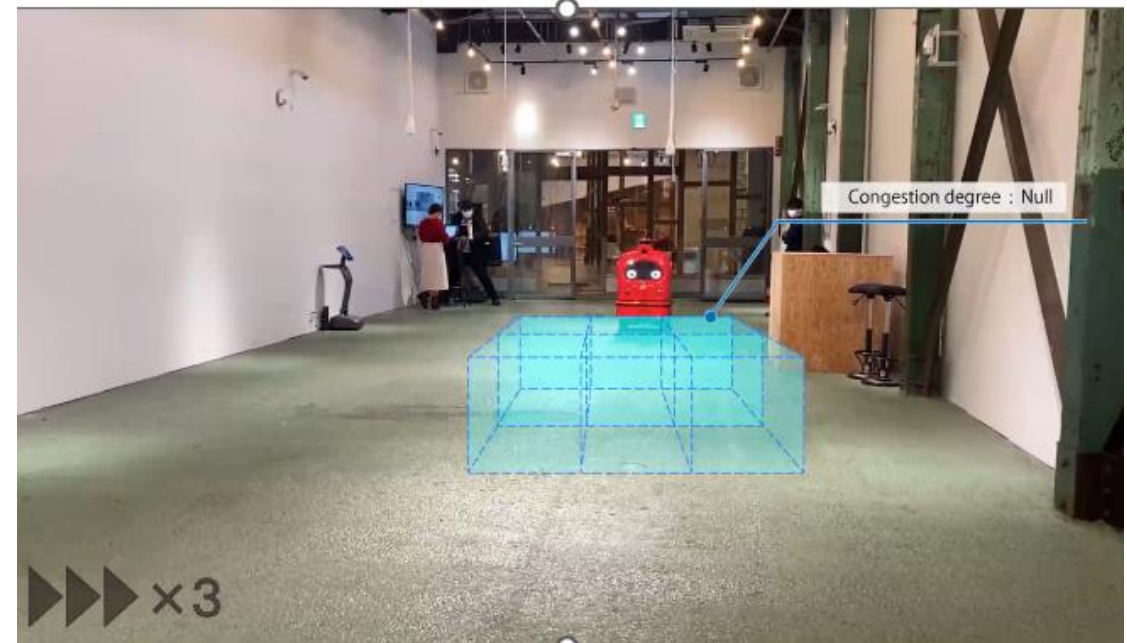
デジタルツイン構築に関する調査研究 調査報告書

https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/9f4e70e2-2335-4181-8293-258c12549d31/38cba97c/20230426_policies_mobility_report_01.pdf

コモングラウンド・リビングラボにおける実証実験（動画）



空間ID 混雑度データあり

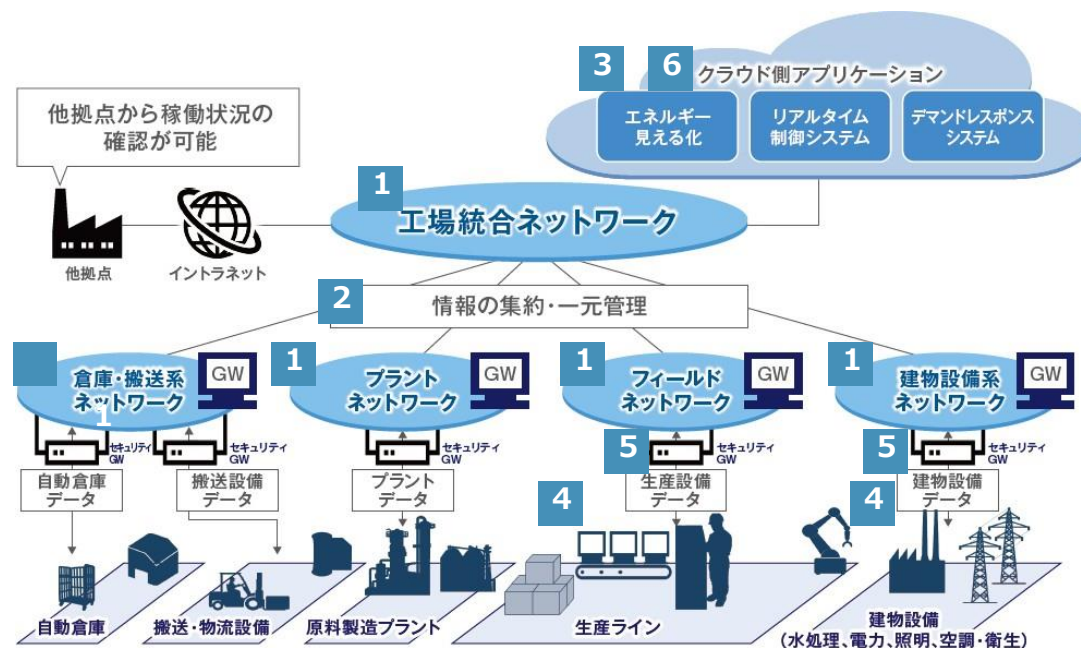


空間ID 混雑度データなし

- 工場の新築・再構築に合わせ、ワンストップでスマートファクトリー構築をご支援します。
- 建物設備だけでなく、ICT設備、自動搬送設備、生産設備の領域にも精通しています。
- 生産・建築設備等の現場レベルから、工場基幹システムまでの基盤を構築することで、経営層の判断や戦略をスピーディに工場へ展開可能です。
- 要素技術を活用することで製造DX・スマートファクトリーを実現でき、生産性・品質向上に貢献します

製造DX・スマートファクトリー 実現の要素技術

- 1 ネットワークインフラ
- 2 集中監視システム
- 3 データプラットフォーム
- 4 エネルギーマネジメントシステム
- 5 FA/BAサイバーセキュリティ
- 6 次世代建物制御システム





建物ライフサイクルの中で「ビルOS」「デジタルツイン」を活用し、ホールライフカーボン削減に貢献

建物ライフサイクル

資材製造・建設

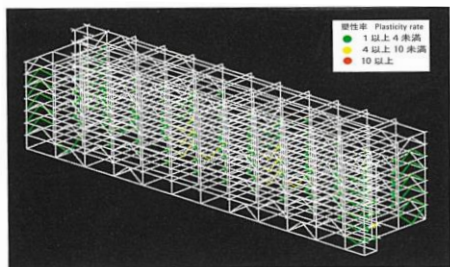


運用

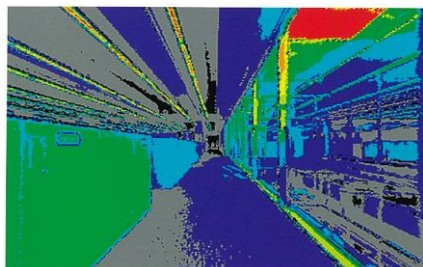


解体廃棄

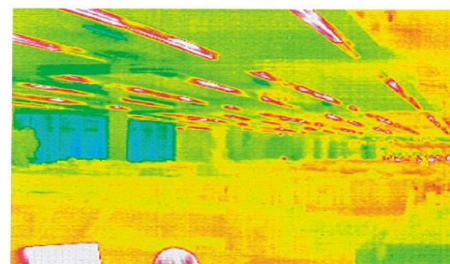
デジタル空間 (CAD、BIM)



耐震シミュレーション



光環境シミュレーション



温熱環境シミュレーション



空間デザイン (CG)

フィジカル空間 (実建物)



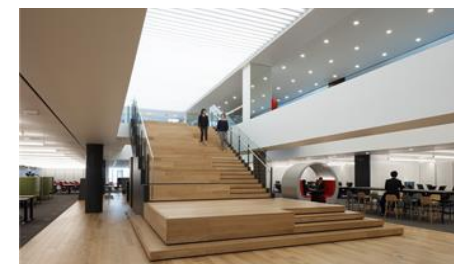
構造躯体+地震計



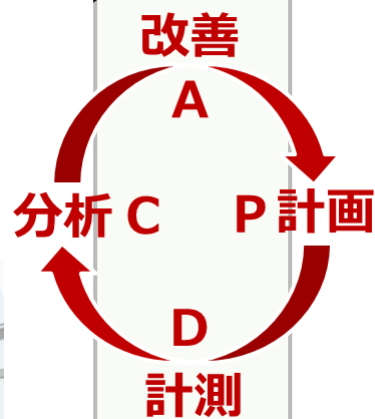
実際の光環境



実際の温熱環境



実際の空間デザイン



図・写真出典：2005,新建築

今年も「スマートビルディングEXPO」に、ぜひご来場下さい！
(12/11水～13金 東京ビッグサイト)



2023年 展示ブース (パース)

想いをかたちに 未来へつなぐ

